

COMUNE di MODENA

Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA - SISMICA
A SUPPORTO DEL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI
RICOVERO ATTREZZI AGRICOLO A MODENA STRADELLO CADIANE 252

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08)

"RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08)

Committente: Az. FERRARI ROMANO



Febbraio 2015

Il Tecnico incaricato



Dr. Marco Roli

Geologo

Idrogeologia - Indagini Geognostiche
Relazioni Geologiche e Geotecniche

Via Guido Gozzano n°74, 41058 Vignola (MO)

Tel. 059773706 - Cell. 3288689554

e-mail marcoroli@inwind.it

Ordine dei Geologi dell' Emilia Romagna n°1006

Relazione Tecnica comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfologici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE DI PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la “**RISPOSTA SISMICA DEL SITO**” (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (6.4 del D.M. 14/01/08) al fine della progettazione per azioni sismiche

OGGETTO:

**A SUPPORTO DEL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI
RICOVERO ATTREZZI AGRICOLO A MODENA STRADELLO
CADIANE 252**

COMMITTENTE: Az. Agricola Romano Ferrari

Indice del contenuto

1. Premesse.....	pag. 3
2. Relazione geologica	pag. 4
2.1. Geologia e geomorfologia del sito.....	pag. 4
2.2. Indagini geognostiche	pag. 4
2.2.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT	pag. 5
2.3. Caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del terreno di fondazione	pag. 8
3. Relazione geotecnica	pag. 9
3.1. Indagini geognostiche	pag. 9
3.2. Modello geotecnico di sottosuolo	pag. 9
4. Caratterizzazione sismica del sottosuolo	pag. 10
4.1. Indagini geofisiche	pag. 12
4.2. Verifica di liquefazione	pag. 15
5. Capacità Portante	pag. 20
6. Considerazioni conclusive	pag. 23

Tavole

Tav. n. 1: “Carta corografica”	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: “Carta topografica”	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3: “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse	scala grafica;
Tav. n. 4: “Carta della litologia di superficie”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5: “Ubicazioni indagini geognostiche”	scala grafica.

Allegati

ALL. n. 1 Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica;

1. PREMESSE

Su incarico della società Ferrari Romano, e in accordo con il Tecnico Progettista, nel mese di Febbraio 2015 è stato eseguito il presente studio geologico-geotecnico e di caratterizzazione sismica di sito del terreno di fondazione su cui si collocano fabbricati agricoli oggetto di ampliamento ed adeguamento funzionali.



Figura n. 1.1 – Ripresa fotografica aerea dell'area in studio tratta da archivio informatico interattivo di "BingMaps".

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il succitato Studio verrà suddiviso nei seguenti ambiti:

- 1) RELAZIONE GEOLOGICA riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);
- 2) RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08);
- 3) *Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08).*

Il lotto in studio è collocato in località Baggiovara, come illustrato nella “Carta corografica” (**Tav. n. 1**), in scala 1:25.000, *tavole CTR n. 201_SE*, nella “Carta topografica” (**Tav. n. 2**) in scala 1:10.000, *sezione CTR n. 201150* e nella “Ripresa fotografica aerea dell’area di interesse” (**Tav. n. 3** e Figura 1.1), tratta da archivio interattivo di “Bing Maps”, che compaiono in allegato.

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO

L’area di interesse è localizzata a sud-ovest della zona urbana di Modena, in stradello Cadiane n°252. L’area, a vocazione agricola, è posta alla quota topografica media di 45,0 m s.l.m. e presenta una morfologia pianeggiante. Da quanto si evince dalla “Carta della litologia di superficie”, scala 1: 5.000, (**Tav. n. 4**) tratta dal sito della Regione Emilia Romagna, GEOLOGIA, SISMICA E SUOLI - Cartografia geologica interattiva, nell’area oggetto di studio affiorano litotipi appartenenti alla Successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano.

In particolare in corrispondenza dell’area di interesse affiora la seguente litologia:

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8 – Subsintema di Ravenna

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia individuata dalla cartografia nell’area di studio e in base alla tipologia dell’intervento in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini:

○ N. 2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT;
○ N. 1 INDAGINI SISMICHE MASW

I tabulati e i diagrammi relativi alle prove penetrometriche effettuate in sito, corredate dell'interpretazione geotecnica, sono riportati in **Allegato n. 1**.

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Sull'area in studio si sono eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, spinte sino alla profondità di -10,60 m da p.c.. a rifiuto strumentale per raggiungimento dello strato ghiaioso addensato.

La prova è stata effettuata tramite penetrometro GOUDA, da 200 kN di spinta, montato su autocarro gommato a trazione integrale ACM 90.

Il dispositivo di misura consiste in una centralina di acquisizione digitale. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato e amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre. Le caratteristiche dello strumento impiegato per i sondaggi sono le seguenti:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	R_I (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prova eseguita, corredata dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta (**Fig. 2.1**) presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm².

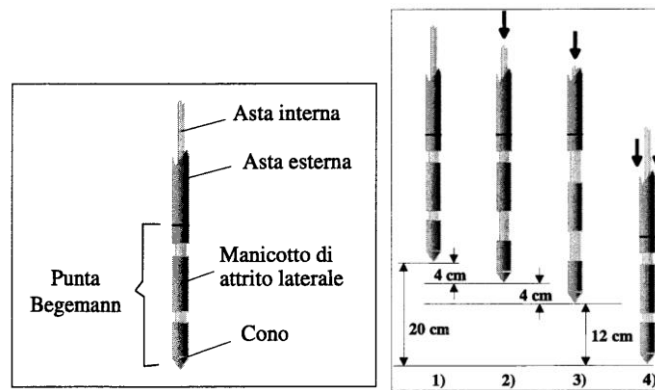


Figura 2.2.1.1 – Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b).

I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento :

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (R_p);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (R_l);
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (R_t).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (R_p) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm^2 . Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (R_l).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta " q_c " e dell'attrito laterale locale " f_s " possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s(X) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione “Friction Jacket Cone” è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di *Begemann*, modificata da *Schmertmann* (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

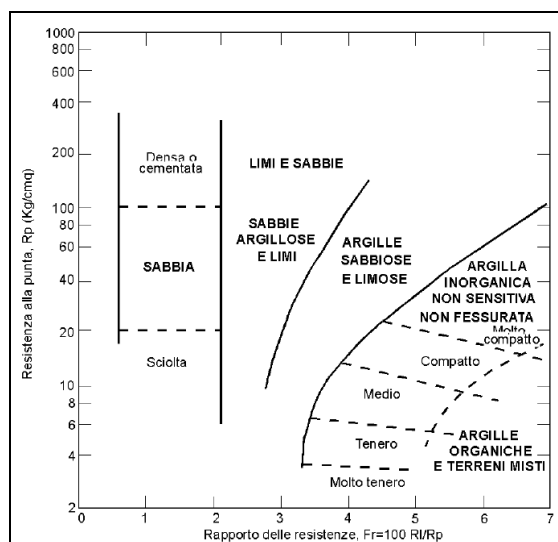
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra R_p e R_l** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/R_l	Litologia
$R_p/R_l < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/R_l < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/R_l < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/R_l > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

Metodo di Schmertmann:

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze **Fr** (con **$Fr\% = 100 R_l/R_p$**), secondo il grafico seguente:



2.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE






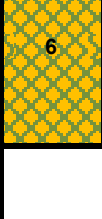
L'indagine penetrometrica eseguita sul sito oggetto di intervento ha permesso di discretizzare i livelli litologici a caratteristiche stratigrafico tessiturali simili. L'elaborazione geotecnica e litostratigrafia della prova penetrometrica CPT al di sotto della copertura di riporto superficiale ha individuato a partire dalla superficie una successione di depositi con le seguenti caratteristiche:

livelli	LITOLOGIA
0,0 m - 0.80 m	Pre-foro all'interno di riporto eterogeneo (ciottoli blocchi e laterizi)
0.80 m - 2.00 m	Argille e limi da poco a mediamente consistenti I valori di resistenza alla punta R_p registrati sono compresi tra 0.60 e 1.60 MPa
2.00 m - 2.80 m	Limi argillosi, localmente sabbiosi molto consistenti Valori di R_p compresi tra 1.80 e 3.50 MPa
2.80 m - 6.00 m	Argille limose a consolidazione crescente Valori di R_p compresi tra 1.2 e 4.0 MPa
6.00 m - 10.60 m	Argille e Argille limose a media consolidazione Valori di R_p compresi tra 1.50 e 3.00 MPa
10.60 - 15.00	Ghiaie $R_p > 40$ Mpa

Al termine delle prove penetrometriche è stato possibile rilevare in parte e solo nel foro n°2 la presenza della falda alla quota di -6,50 m, trattasi di valore non ancora attestato al valore piezometrico. La verifica è stata eseguita mediante freatimetro elettroacustico. Nell'area è comunque prudentiale considerare una falda freatica alla quota media di -1,50 m da p.c., valore che può avere oscillazioni in funzione del periodo meteo climatico in cui viene misurata.

3. RELAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geognostiche precedentemente descritte, si può fornire il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Strato	Profondità	Falda	Litotipo		Parametri geotecnici	
	0.0 – 0.80 m da p.c.		Riporto granulare eterogeneo		γ	-
					γ'	-
					C_{uk}	-
					C'_k	-
					M_0	-
					ϕ_k	-
					v	-
	0.80 – 2.00 m da p.c.	-1.50	Argilla e limi da poco a mediamente consistenti		γ	1800 kg/cm ³ ≈ 18.00 kN/m ³
					γ'	2050 kg/cm ³ ≈ 20.50 kN/m ³
					C_{uk}	0.44 kg/cm ² ≈ 44.0 kN/m ²
					C'_k	0.03 kg/cm ² ≈ 3.0 kN/m ²
					M_0	42.0 kg/cm ² ≈ 4200 kN/m ²
					ϕ_k	21°
					v	0.50
	2.00 – 2.80 m da p.c.		Argille limose localmente limo sabbiose molto consistenti		γ	1950 kg/cm ³ ≈ 19.50 kN/m ³
					γ'	2150 kg/cm ³ ≈ 21.50 kN/m ³
					C_{uk}	0.60 kg/cm ² ≈ 60.0 kN/m ²
					C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.0 kN/m ²
					M_0	47.0 kg/cm ² ≈ 4700 kN/m ²
					ϕ_k	26°
					v	0.40
	2.80 – 6.00 m da p.c.		Argilla limosa a consolidazione crescente		γ	1900 kg/cm ³ ≈ 19.00 kN/m ³
					γ'	2100 kg/cm ³ ≈ 21.00 kN/m ³
					C_{uk}	0.55 kg/cm ² ≈ 55.0 kN/m ²
					C'_k	0.04 kg/cm ² ≈ 4.0 kN/m ²
					M_0	54.0 kg/cm ² ≈ 5400 kN/m ²
					ϕ_k	25°
					v	0.45
	6.00 – 10.60 m da p.c.		Argilla limosa A media consistenza		γ	1900 kg/cm ³ ≈ 19.00 kN/m ³
					γ'	2050 kg/cm ³ ≈ 20.50 kN/m ³
					C_{uk}	0.50 kg/cm ² ≈ 50.0 kN/m ²
					C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.0 kN/m ²
					M_0	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
					ϕ_k	24°
					v	0.38
	10.60 – 15.00 m da p.c.		Ghiaie mediamente addensate		γ	2050 kg/cm ³ ≈ 20.50 kN/m ³
					γ'	2100 kg/cm ³ ≈ 21.00 kN/m ³
					C_{uk}	-
					C'_k	-
					ES_k	150.0 kg/cm ² ≈ 15000 kN/m ²
					ϕ_k	33°
					v	0.30
Legenda			γ	=	peso specifico terreno naturale	
			γ'	=	peso specifico terreno saturo	
			C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica	
			C'_k	=	coesione efficace caratteristica	
			Dr	=	densità relativa	
			M_0	=	modulo di deformazione edometrico	
			Es	=	modulo di deformazione elastico	
			ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico	

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, **il Comune di Modena** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**, indicativa di una zona a bassa sismicità.

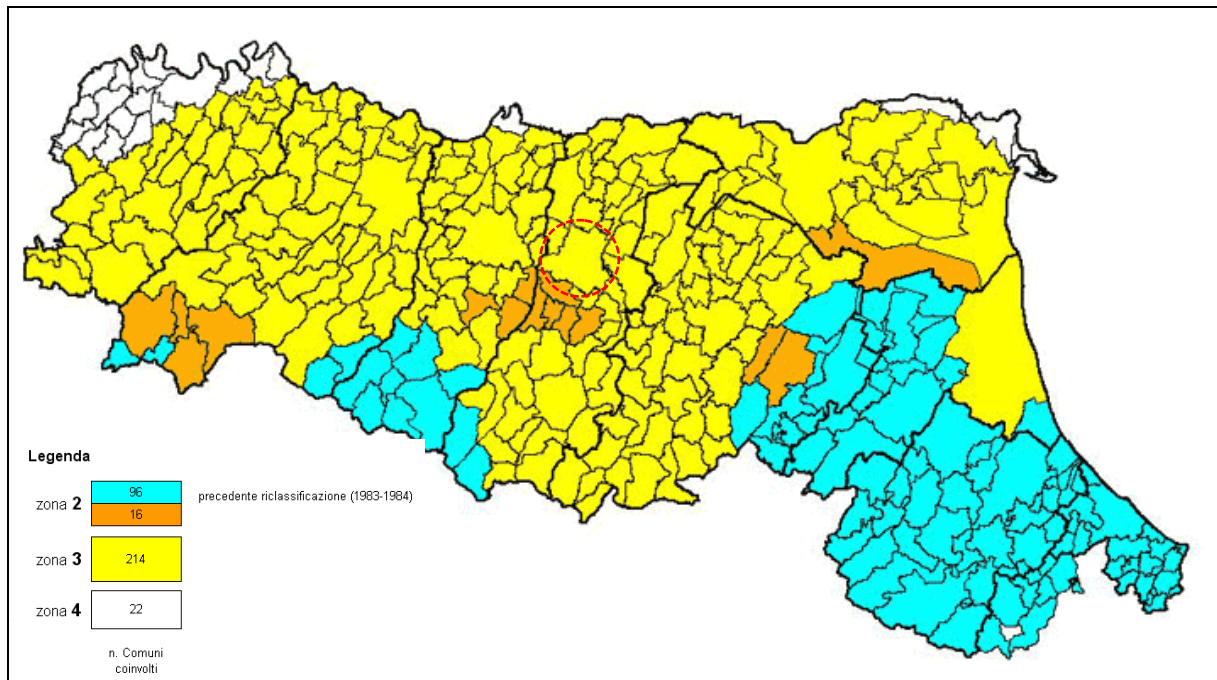


Figura 4.1.1 – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna, il cerchio rosso indica il Comune di Modena (MO).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (N.N.T.C.), che ha limitato l'importanza della classificazione sismica alla gestione della pianificazione ed al controllo del territorio da parte degli enti pubblici. Sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008 - N.N.T.C.** per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44,603801, Longitudine 10,909585°, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a $a_{g\text{ attesa}} = 0.162_g$.

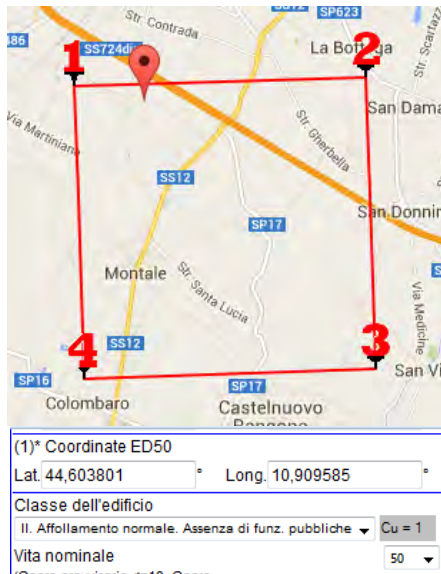


Tabelle 4.1.1 – Tabelle dei parametri sismici desunti dal programma “Parametri Sismici” di GEO STRU.

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (suolo categoria A) e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri che F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra. Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” (D.M. 14 Gennaio 2008) e tenendo conto dei dati ottenuti da un indagine geofisica **eseguita in sito**, si classifica il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a “DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI $15 < N_{SPT,30} < 50$ NEI TERRENI A GRANA GROSSA E $70 < C_{u30} < 250$ kPa NEI TERRENI A GRANA FINA)”.

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico S_s** , caratteristico del sito secondo le N.N.T.C. - D.M. 14/01/2008, mediante la seguente relazione, valida suoli in classe **C**:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.367**;

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.47**;

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico **S_T** dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore topografico S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona di pianura e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico **S_T** pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico **S_s** e del fattore topografico **S_T** si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale **A_{max}** :

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.162_g = 0.238_g \quad (4.1.2)$$

4.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per caratterizzare l'area da un punto di vista sismico sono state eseguite in sito alcune indagini geofisiche. Tali indagini consistono in:

- **N. 1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW;**

Per potere classificare l'area da un punto di vista sismico, come richiesto dal D.M. 14 Gennaio 2008, è stata eseguita in sito **n. 1 indagine sismica a rifrazione con tecnica MASW.**

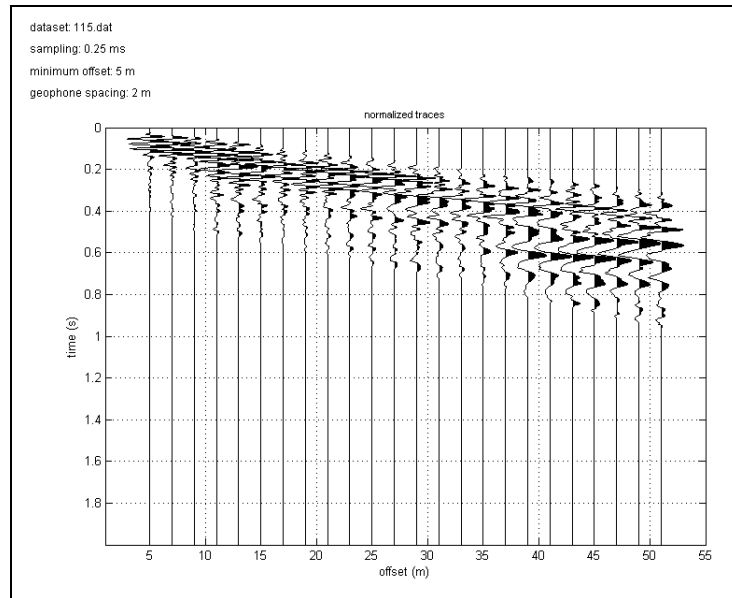


Fig. n. 5 – acquisizione sismica

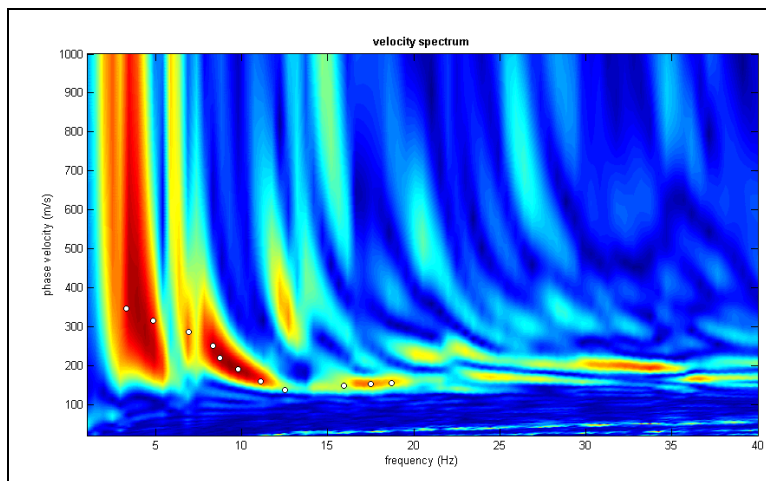


Fig. n. 6– spettro velocità di fase.

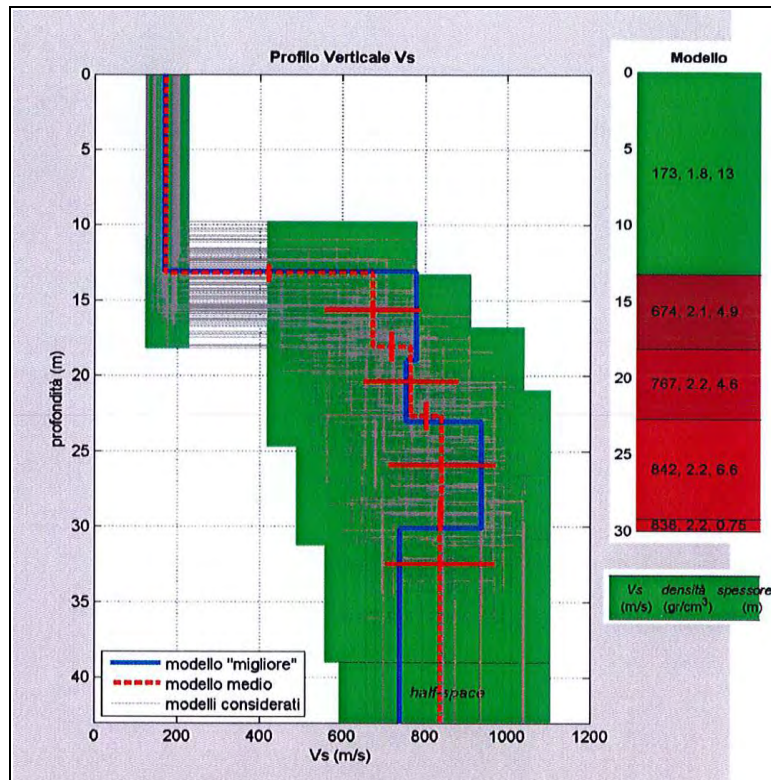


Fig n. 7 – log Vs 30 - profondità -VS=311 m/s

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando 24 geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la **"curva di dispersione"**, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs).

I dati sono stati registrati mediante un sismografo GEODE della Geometrics a 24 canali. La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica MASW per la determinazione dello spettro di velocità tramite l'inversione della curva di dispersione, con l'utilizzo del *software winMASW 4.3*.

La procedura MASW può quindi sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- Acquisizione dei dati di campo;
- Estrazione della curva di dispersione;
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs, che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Determinazione del parametro V_{s30} ai sensi del D.M. 14/01/2008

Le elaborazioni, restituiscono dei grafici che riportano la curva di dispersione del segnale, dalla cui inversione è stato calcolato il Modello “Sismo –Stratigrafico”, espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs), con un’immagine a colori che mostra i valori di lettura delle velocità/frequenza ed il profilo delle velocità delle onde di taglio con l’indicazione della V_{s30} calcolata, espressa in metri/secondo.

Tali valori, nell’area indagata, per la classificazione sismica del terreno di fondazione, seguendo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008, sono risultate pari a:

MASW	$V_{s30} = 311 \text{ m/s}$	Categoria C
-------------	---	--------------------

Quindi, secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) e in base ai dati ottenuti dall’indagine geofisica sopracitata (**Allegato n. 3**), si conferma l’appartenenza del terreno di fondazione indagato alla **categoria C**.

4.2 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana). Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle

sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Si osserva inoltre che, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione e che maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di ri-liquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione dei dati ottenuti da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda, in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di “**Robertson e Wride**”. I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilitabile nello strato (R)** e lo **sforzo tangenziale indotto dal sisma (T)**. In pratica si avrà:

$$FS = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza FS sarà minore di 1.

La grandezza **T** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica massima al suolo e magnitudo di progetto). **R** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza **T** viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \right) \cdot r_d \left(\frac{1}{MSF} \right)$$

dove:

a_{max}	= accelerazione sismica massima;
g	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s ² ;
σ_{v0}	= pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
σ_{v0}'	= pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
r_d	= coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema: $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio **R** mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.833 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} + 0.05 \right] \text{ per } (q_{c1n})_{cs} < 50;$$

$$R = 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \text{ per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1$.

Calcolo dell'indice di liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione **IL**. Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \cdot \Delta z$$

dove:

- n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale;
- F = $1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$;
- Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;
- $W(z)$ = $10 - 0,5z$, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

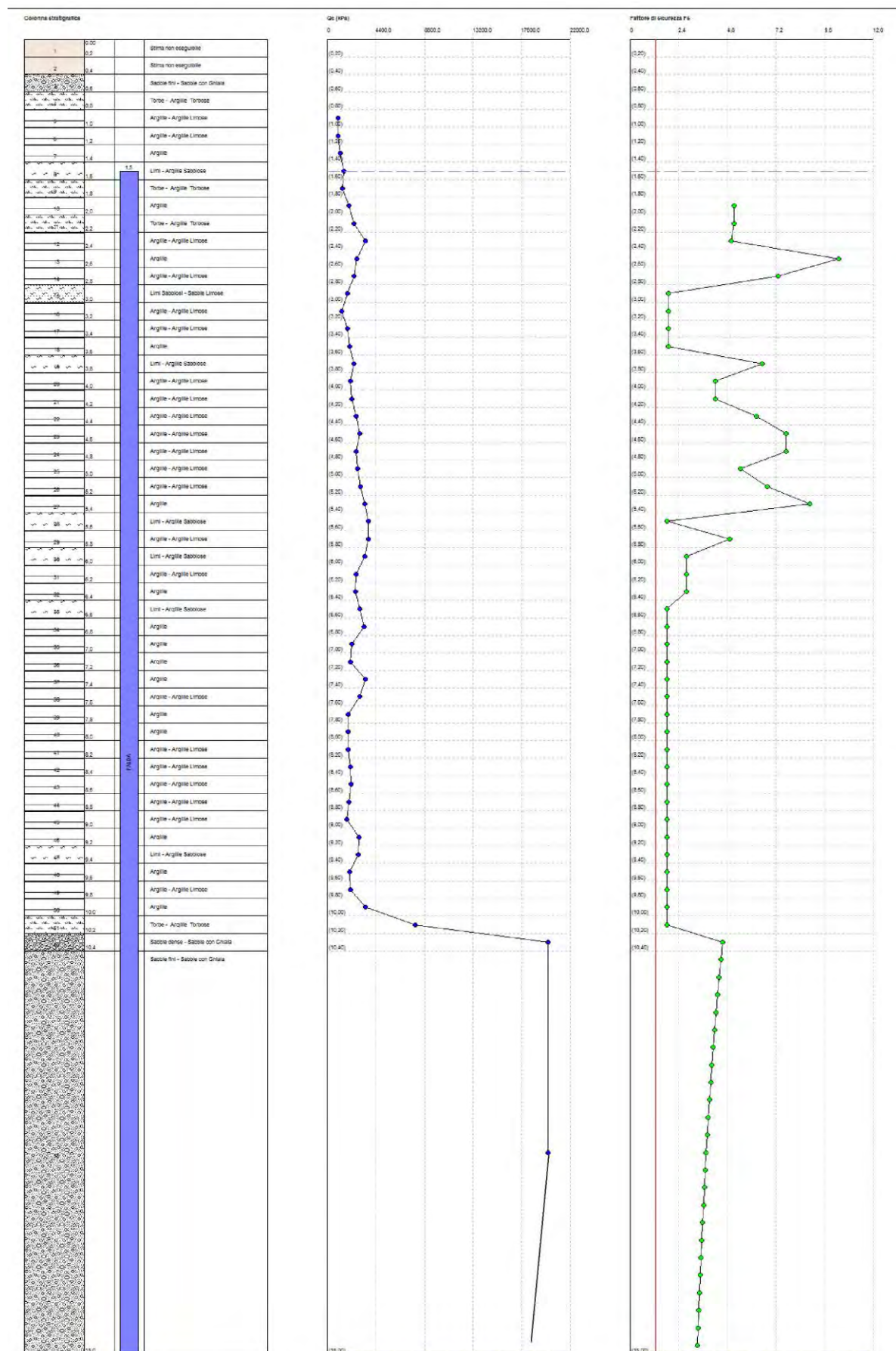
In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
0<IL≤5	Basso
5<IL≤15	Alto
15<IL	Molto alto

Nel nostro caso la verifica a liquefazione è stata eseguita, in via cautelativa, considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$, un'accelerazione massima orizzontale $A_{max} = 0.236g$ (calcolata sulla base delle N.N.T.C) e con la falda freatica alla quota $D_w = -1.50$ m da p.c..

Sono stati ottenuti i seguenti valori di indice di liquefazione IL:

CPT	IL	Rischio di liquefazione
1	0.0	Rischio molto basso



5. VALUTAZIONE CAPACITA' PORTANTE

A titolo esemplificativo si riporta una valutazione di massima della capacità portante ipotizzando l'adozione di fondazioni dirette. Calcolo teorico ipotizzato:

- A) fondazione diretta tipo **trave a "T" rovescia**, alla quota di -1,30 m, avente larghezza "b" di 1,30 m
- B) fondazione diretta a **plinti** diretti a base quadrata 2,5 m x 2,5 m collegati, quota di imposta a -1,50 m

Nota: la quota "0" è riferita all'attuale piazzale che risulta in riporto a +0,60 m rispetto al piano di campagna naturale

Fondazione superficiale – parametri geotecnici caratteristici

- peso specifico terreno naturale sopra falda	γ	= 1800 kg/m ³ \approx 18000 N/m ³
- coesione non drenata caratteristica	C_{uK}	= 0,44 kg/cm ² \approx 44 kN/m ²
- coesione efficace caratteristica	c'_K	= 0,03 kg/cm ² \approx 3,0 kN/m ²
- angolo d'attrito caratteristico	ϕ_K	= 21°
- Modulo di Poisson	ν	= 0,50
- Costante di sottofondo	K	= 1,6/1,8 kg/cm ³ = 16/18 N/cm ³
- Modulo di deformazione edometrico	M_o	= 42.00 kg/cm ² \approx 4200 kN/m ²
- profondità falda freatica	Dw	= -1,50
- pendenza del terreno	β	= \sim 0°
- categoria sismica terreno	"C"	
- classe di sismicità	Cs	= 3

Utilizzando, per la pressione limite, le equazioni di Terzaghi:

$$q_{lim} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot h \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (\text{fond. quadrate})$$

ed assumendo per i fattori adimensionali N_c , N_q , N_γ i valori proposti da Meyerhof, si avrà:

Verifica della Portanza Allo S.L.U.

In relazione a quanto esposto nel D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**) GEO: stato limite di resistenza del terreno.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove: E_d = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni;

R_d = valore di progetto della resistenza del terreno.

La resistenza R_d del terreno può essere determinata:

1) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Descrizione	Simbolo			
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Tabella 7.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

2) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati delle prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera;

3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera.

La verifica nei confronti degli stati limite ultimi viene effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche sono effettuate seguendo i seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):

Approccio 1: Combinazione 2 (A2+M2+R2) dove A2=1; M2=1,4; R2=1,8

Approccio 2: Combinazione (A1+M1+R3) dove A1=1; M1=1; R3=2,3

Utilizzando quindi **Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** in condizioni “**non drenate**” applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata $\gamma_{cu} = 1,4$ sarà uguale a:

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta da piazzale	Dimensione fondazione	Capacità portante SLU
A) -1,30 m da p.c. Trave a “T” rovescia	1,30 m	1,10 kg/cm² \approx 110,0 kN/m²
B) -1,50 m da p.c. plinto	1,50 m x 1,50 m	1,12 kg/cm² \approx 112,0 kN/m²

Valore risultante applicando il fattore R2=1,8

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “**drenate**”, dove $C' = 0$ e $\varphi' \neq 0$, è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** un

angolo di attrito efficace, applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito ($\gamma_{\varphi} = 1,25$). Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto, uno stato limite ultimo pari a:

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensione fondazione	Capacità portante SLU
C) -1,30 m da p.c. Trave a "T" rovescia	1,30 m	0,82 kg/cm² \approx 82,0 kN/m²
D) -1,50 m da p.c. plinto	1,50 m x 1,50 m	1,13 kg/cm² \approx 113,0 kN/m²

Valore risultante applicando il fattore $R2=1,8$

Utilizzando invece l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3) il carico limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni "non drenate", $\varphi = 0$ e $\gamma = 1,80 \text{ T/m}^3$ applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata $\gamma_{cu} = 1,0$ sarà uguale a:

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensione fondazione	Capacità portante SLU
E) -1,30 m da p.c. Trave a "T" rovescia	1,30 m	1,13 kg/cm² \approx 113,0 kN/m²
F) -1,50 m da p.c. plinto	1,50 m x 1,50 m	1,17 kg/cm² \approx 117,0 kN/m²

Valore risultante applicando il fattore $R3=2,3$

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni "drenate", dove $C' = 0$ e $\varphi' \neq 0$, è stato considerato, sempre seguendo l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3) un angolo di attrito efficace, in questo caso il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito è $\gamma_{\varphi} = 1,0$. secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto, uno stato limite ultimo pari a:

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensione fondazione	Capacità portante SLU
G) -1,30 m da p.c. Trave a "T" rovescia	1,30 m	1,01 kg/cm² \approx 101 kN/m²
H) -1,50 m da p.c. plinto	1,50 m x 1,50 m	1,38 kg/cm² \approx 138,0 kN/m²

Valore risultante applicando il fattore $R3=2,3$

Sarà cura del Progettista implementare le verifiche di capacità portante sulla base dei dimensionamenti fondali esecutivi, inoltre dovranno essere verificate le compatibilità delle strutture sulla base dei cedimenti del terreno in funzione dei carichi operativi di esercizio.

Nello specifico: non conoscendo le caratteristiche strutturali e di esercizio (carichi, fattori di struttura, periodi vibrazionali etc..) sarà cura del progettista effettuare le ulteriori verifiche geotecniche di cui al D.M. 14/01/2008:

A) Verifiche della sicurezza e delle prestazioni, allo SLU, scelta dell'approccio, Azioni di progetto (SLU) scelta della combinazione (cap. 2.5. delle NTC), Calcolo dell'azione Ed, Resistenze di progetto (SLU): calcolo della capacità portante (Rd) con effetto sismico introducendo l'inerzia della struttura K_{hi} (Cap. 7. 11.5. 3.1 - NTA 2008) e l'inerzia del suolo K_{hk} (Cap. 7.11.5.3.1.7. NTA - 2008); Verificando $Ed \leq Rd$.

B) Verifiche della sicurezza e delle prestazioni, stati limite di esercizio (SLE), calcolo dei valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7) $Ed \leq Cd$. Azioni di progetto (SLE), scelta della combinazione (cap. 2.5. delle NTC), calcolo dei cedimenti SLE.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base dei dati emersi dalle indagini geognostiche eseguite in sito si fornisce per il terreno di fondazione del fabbricato in progetto, il **modello geotecnico** medio riportato nel *paragrafo 3* della presente relazione, con la parametrizzazione geotecnica necessaria a supportare la scelta e la progettazione della fondazione. In relazione a quanto esposto nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica redatto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, edito nel Gennaio 2008 (**NNTC 2008**).

A titolo esemplificativo si è effettuata a pag.21-22 una valutazione di massima della capacità portante ipotizzando l'adozione di fondazioni dirette secondo la tipologia indicata:

- A) fondazione diretta tipo **trave a "T" rovescia**, alla quota di -1,30 m, avente larghezza "b" di 1,30 m
- B) fondazione diretta a **plinti** diretti a base quadrata 2,5 m x 2,5 m collegati, quota di imposta a -1,50 m

Le fondazioni dovranno essere adeguatamente irrigidite in funzione della possibile contrazione volumetrica dei sedimenti argilloso limosi investigati, possibile a seguito di impermeabilizzazioni delle aree cortilive, degli apparati radicali e con il protrarsi di stagioni siccitose prolungate.

Il progettista dovrà implementare le seguenti verifiche geotecniche di cui al D.M. 14/01/2008 ovvero:

1) Verifiche della sicurezza e delle prestazioni, allo SLU, scelta dell'approccio, Azioni di progetto (SLU) scelta della combinazione (cap. 2.5. delle NTC), Calcolo dell'azione Ed, Resistenze di progetto (SLU): calcolo della capacità portante (R_d) introducendo l'inerzia della struttura K_{hi} (Cap. 7. 11.5. 3.1 - NTA 2008) e l'inerzia del suolo K_{hk} (Cap. 7.11.5.3.1.7. NTA - 2008); Verificando $E_d \leq R_d$.

1) Verifiche della sicurezza e delle prestazioni, stati limite di esercizio (SLE), calcolo dei valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7) $E_d \leq C_d$. Verifiche a slittamento della fondazione superficiale.

2) Azioni di progetto (SLE), scelta della combinazione (cap. 2.5. delle NTC), calcolo dei cedimenti SLE.

La **caratterizzazione sismica** del sito condotta sulla base delle indagini geofisiche effettuate nel lotto, ha permesso di determinare che:

-mediante l'indagine geofisica realizzata in sito è stato possibile ricavare la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità V_{s30} , il valore ricavato è il seguente:

HVSR	$V_{s30} = 311 \text{ m/s}$	categoria C
-------------	---	--------------------

-sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione delle indagini sismiche HVSR **non** è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico del sito.

-sulla base delle N.N.T.C. e tenendo conto dei dati ottenuti dall'indagine geofisica presa in considerazione, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI **15** < $N_{SPT,30}$ < **50** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **70** < Cu_{30} < **250 kPa** NEI TERRENI A GRANA FINA)".

-secondo quanto indicato dalle N.N.T.C. per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera. Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate

geografiche (Sistema di riferimento ED50): Latitudine: 44,603801, Longitudine 10,909585°, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a $a_{g \text{ attesa}} = 0.162_g$.

Per la definizione dell'azione sismica:

-secondo l'approccio previsto dalle **N.N.T.C.**, definite l'amplificazione stratigrafica e topografica in funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito, l'accelerazione massima al suolo è risultata pari a:

$$A_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.162_g = 0.238_g$$

-La verifica a **liquefazione** effettuata, in via cautelativa, considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$, un'accelerazione sismica di progetto $A_{\max} = 0.24g$, (calcolata sulla base delle N.N.T.C) e la soggiacenza della falda freatica alla quota $D_w = -1.50$ m da p.c. ha fornito i seguenti valori dell'indice di liquefazione IL:

CPT	IL	Rischio di liquefazione
1	0.0	Rischio molto basso

Terre da Scavo, La gestione formale ed autorizzativa del progetto di eventuale riutilizzo delle Terre da Scavo (T.R.S.) è demandata al Progettista/D.L. o tecnico abilitato in fase di progetto esecutivo. Il terreno di scavo, se non impiegato in loco, dovrà essere conferito in discarica o trattato ai sensi del D.Lgs. 152/2006, sulla base del D.I. 21 Giugno 2013 n°69 Art. 41- 41bis convertito con L.98-2013. Il terreno dovrà essere sottoposto ad apposita analisi chimico fisica per l'accertamento delle caratteristiche di idoneità finalizzate al corretto riutilizzo e/o smaltimento. Quanto sopra non è oggetto del presente incarico poiché il presente studio e la tipologia di indagini effettuate sono finalizzate esclusivamente alla caratterizzazione geologico-geotecnica e sismica per la modellazione di interazione terreno- struttura come da N.T.C. 2008.

Vignola, 05 Febbraio 2015

Dott. Geol. Marco Roli

ALLEGATI CARTOGRAFICI



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

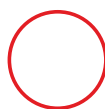
via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it

Tavola C.T.R. n. 201_SE



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000



Area di interesse



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

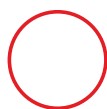
via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it

Sezione C.T.R. n. 201150 Modena Nord-Est



Tav. n. 2 “Carta topografica”

Scala 1: 10000



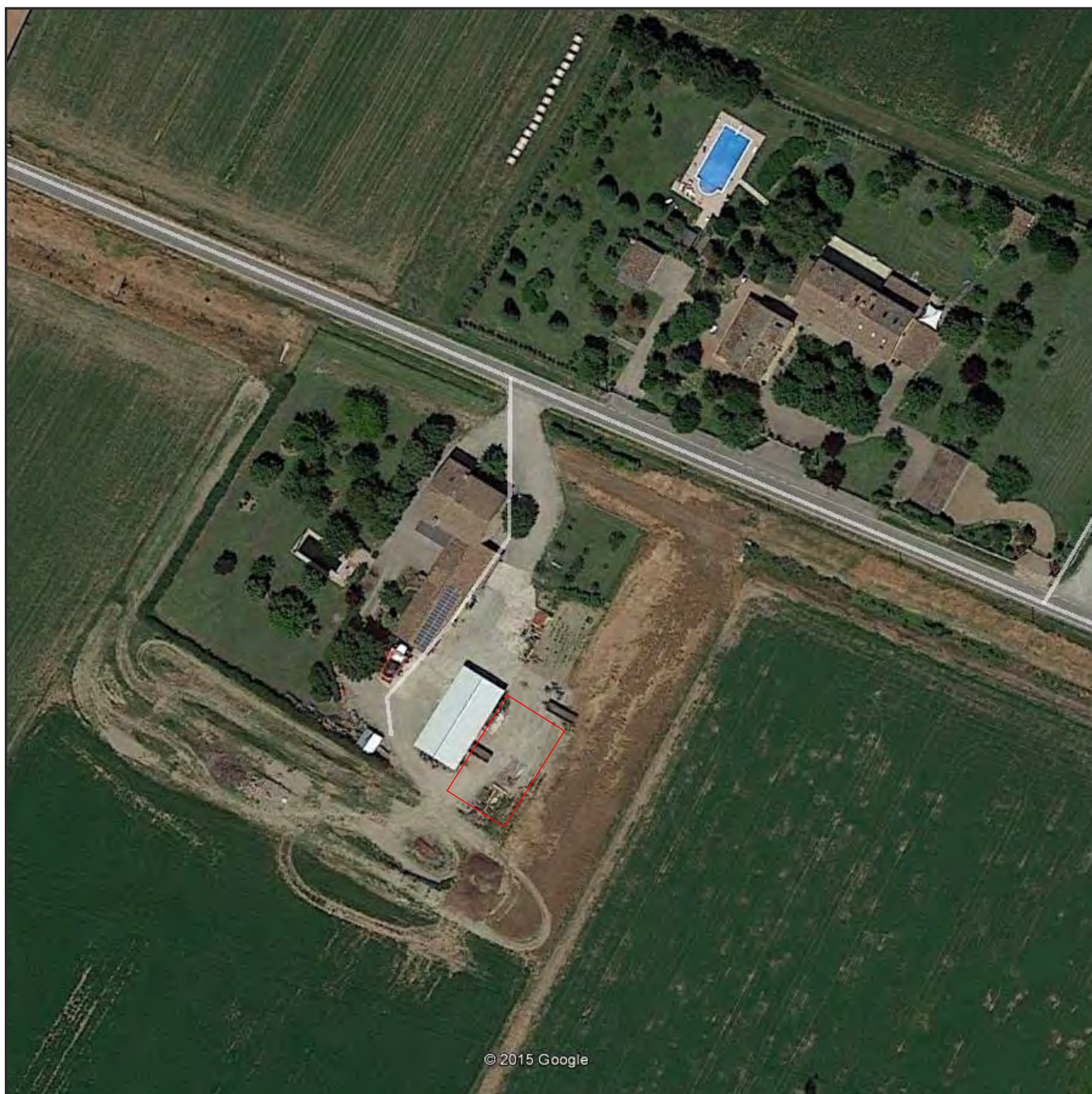
Area di interesse



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it



Tav. n. 3 “Ripresa fotografica aerea dell’area di interesse”

(tratta da archivio interattivo “viaMichelin”)
Scala grafica



Area oggetto di studio



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

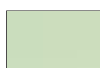
via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it



Tav. n. 4 "Carta della litologia di superficie"

Scala 1: 5000

Legenda



AES8a - Unità ' di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione.

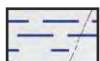


AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

Depositi quaternari continentali



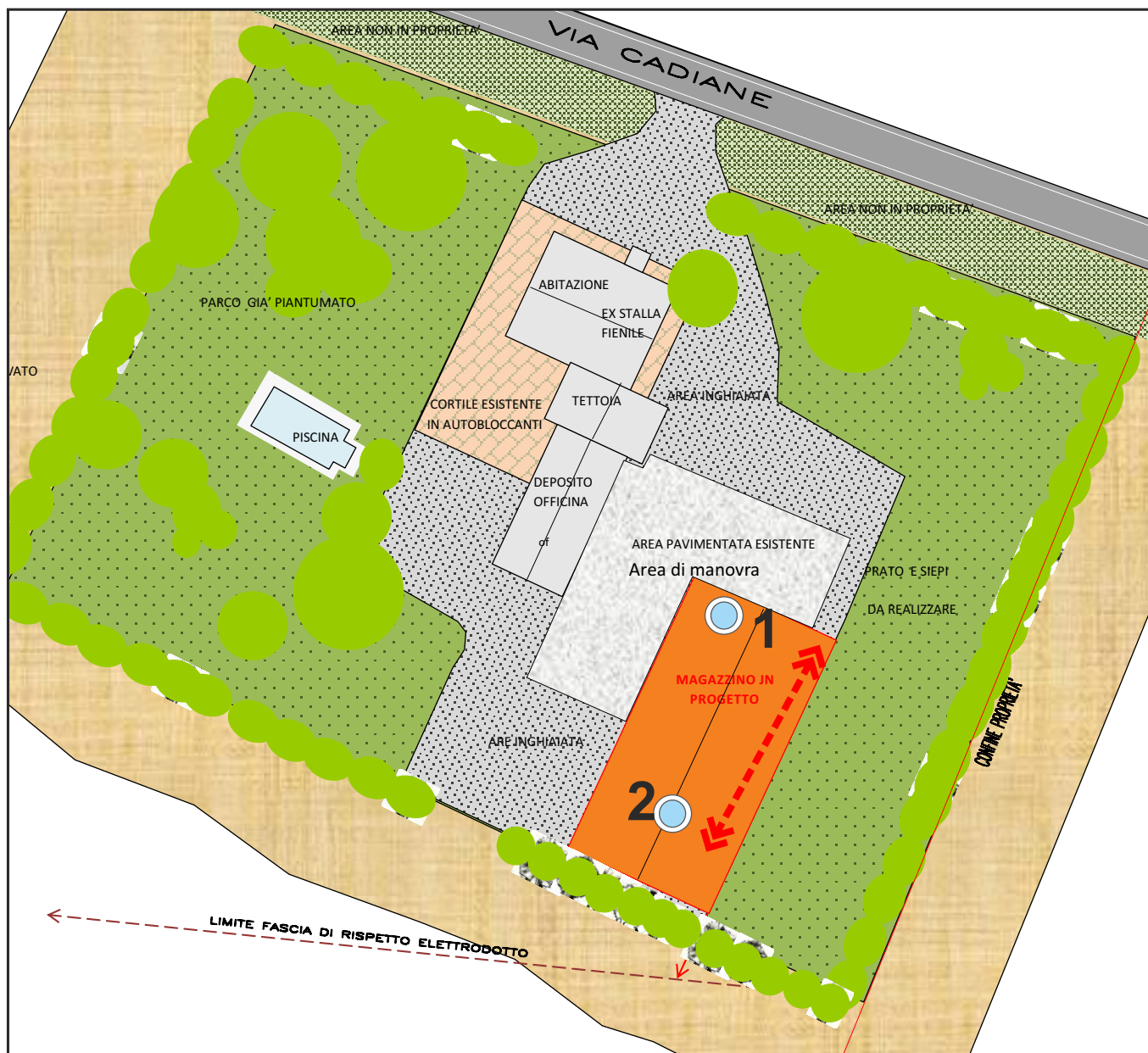
Deposito limoso sabbioso



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it



Tav. n. 5 “Ubicazioni indagini geotecniche e geofisiche”

(ripresa aerea tratta da archivio interattivo “viaMichelin”)

Scala grafica



Area di
interesse



Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT



Indagine sismica a rifrazione MASW eseguita

PROVE PENETROMETRICHE



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
GOUDA 200 kN -
Caratteristiche:

- punta conica meccanica Ø 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø = 35.7 mm - h = 133 mm - $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale: $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

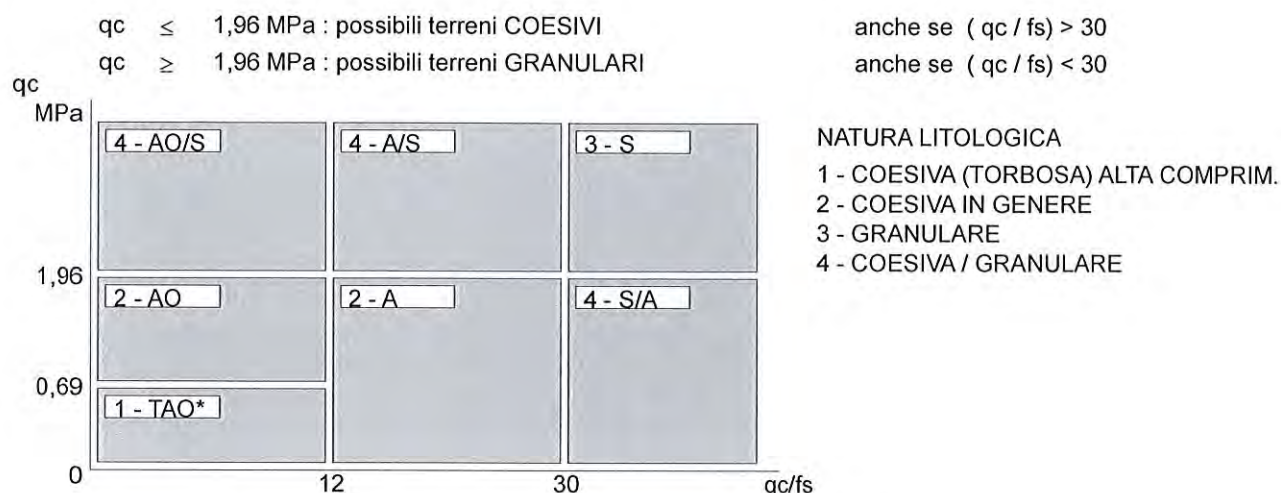
1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
 (Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
 (Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - q_c - natura]
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
 [correlazioni : Dr - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - q_c - σ'_{vo})
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \%$:

- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	= sabbia sciolta
- Sm	= sabbia mediamente addensata
- Sd	= sabbia densa o cementata
- SC	= sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA **LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT
1

riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano

Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli

Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa

Data esec.: 30/01/2015

Pagina: 1/2

Elaborato:

Falda: Foro chiuso

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	-	-	-	-	-	-	-								
0,40	-	-	-	-	-	-	-								
0,60	-	-	-	-	-	-	-								
0,80	0,0	0,0	-	0,0	27,00	0	-								
1,00	7,0	11,0	-	0,7	53,00	13	7,6								
1,20	16,0	24,0	-	1,6	120,00	13	7,5								
1,40	12,0	30,0	-	1,2	73,00	16	6,1								
1,60	13,0	24,0	-	1,3	87,00	15	6,7								
1,80	7,0	20,0	-	0,7	127,00	6	18,1								
2,00	12,0	31,0	-	1,2	100,00	12	8,3								
2,20	15,0	30,0	-	1,5	113,00	13	7,5								
2,40	23,0	40,0	-	2,3	73,00	32	3,2								
2,60	21,0	32,0	-	2,1	87,00	24	4,1								
2,80	13,0	26,0	-	1,3	87,00	15	6,7								
3,00	12,0	25,0	-	1,2	67,00	18	5,6								
3,20	15,0	25,0	-	1,5	73,00	21	4,9								
3,40	14,0	25,0	-	1,4	73,00	19	5,2								
3,60	15,0	26,0	-	1,5	80,00	19	5,3								
3,80	18,0	30,0	-	1,8	53,00	34	2,9								
4,00	20,0	28,0	-	2,0	147,00	14	7,4								
4,20	23,0	45,0	-	2,3	147,00	16	6,4								
4,40	28,0	50,0	-	2,7	153,00	18	5,5								
4,60	27,0	50,0	-	2,6	180,00	15	6,7								
4,80	33,0	60,0	-	3,2	153,00	22	4,6								
5,00	33,0	56,0	-	3,2	147,00	22	4,5								
5,20	32,0	54,0	-	3,1	140,00	23	4,4								
5,40	36,0	57,0	-	3,5	133,00	27	3,7								
5,60	40,0	60,0	-	3,9	120,00	33	3,0								
5,80	40,0	58,0	-	3,9	127,00	31	3,2								
6,00	36,0	55,0	-	3,5	140,00	26	3,9								
6,20	32,0	53,0	-	3,1	153,00	21	4,8								
6,40	27,0	50,0	-	2,6	120,00	23	4,4								
6,60	34,0	52,0	-	3,3	180,00	19	5,3								
6,80	33,0	60,0	-	3,2	187,00	18	5,7								
7,00	24,0	52,0	-	2,4	93,00	26	3,9								
7,20	25,0	39,0	-	2,5	153,00	16	6,1								
7,40	30,0	53,0	-	2,9	113,00	27	3,8								
7,60	27,0	44,0	-	2,6	133,00	20	4,9								
7,80	22,0	42,0	-	2,2	120,00	18	5,5								
8,00	15,0	33,0	-	1,5	67,00	22	4,5								
8,20	17,0	27,0	-	1,7	87,00	20	5,1								
8,40	19,0	32,0	-	1,9	73,00	26	3,8								
8,60	17,0	28,0	-	1,7	53,00	32	3,1								
8,80	17,0	25,0	-	1,7	93,00	18	5,5								
9,00	22,0	36,0	-	2,2	100,00	22	4,5								
9,20	29,0	44,0	-	2,8	127,00	23	4,4								
9,40	21,0	40,0	-	2,1	133,00	16	6,3								
9,60	22,0	42,0	-	2,2	200,00	11	9,1								
9,80	80,0	110,0	-	7,8	333,00	24	4,2								
10,00	170,0	220,0	-	16,7	80,00	213	0,5								
10,20	24,0	36,0	-	2,4	193,00	12	8,0								
10,40	20,0	49,0	-	2,0	200,00	10	10,0								
10,60	320,0	350,0	-	31,4											

PROVE PENETROMETRICHE S.R.L.

Via per Modena, 8 - CASTELNUOVO R.

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

nota: Preforo Esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA **DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

CPT

1

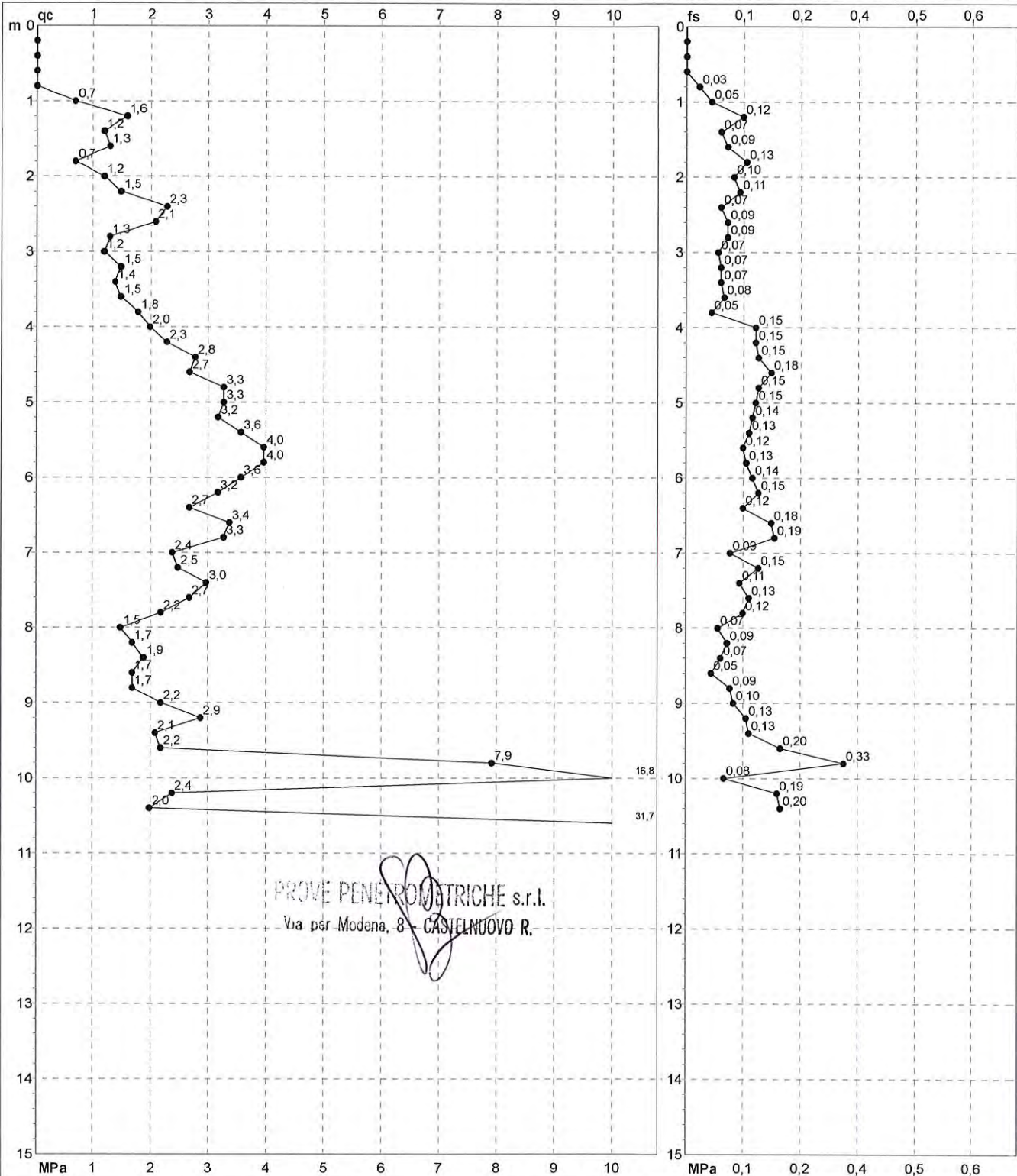
riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano
Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli
Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa
Scala: 1:75
Pagina: 2/2
Elaborato:

Data exec.: 30/01/2015
Quota inizio:
Falda: Foro chiuso



PROVE PENETROMETRICHE s.r.l.
Via per Modena, 8 - CASTELNUOVO R.

Penetrometro: GOUDA 200 kN
Responsabile: Dott. geol. Emilio Guerzoni
Assistente: Dott. Stefano Vigni

Preforo: -0,60 m
Corr.astine: kN/ml
Cod. punta:

nota: Preforo Esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

referimento

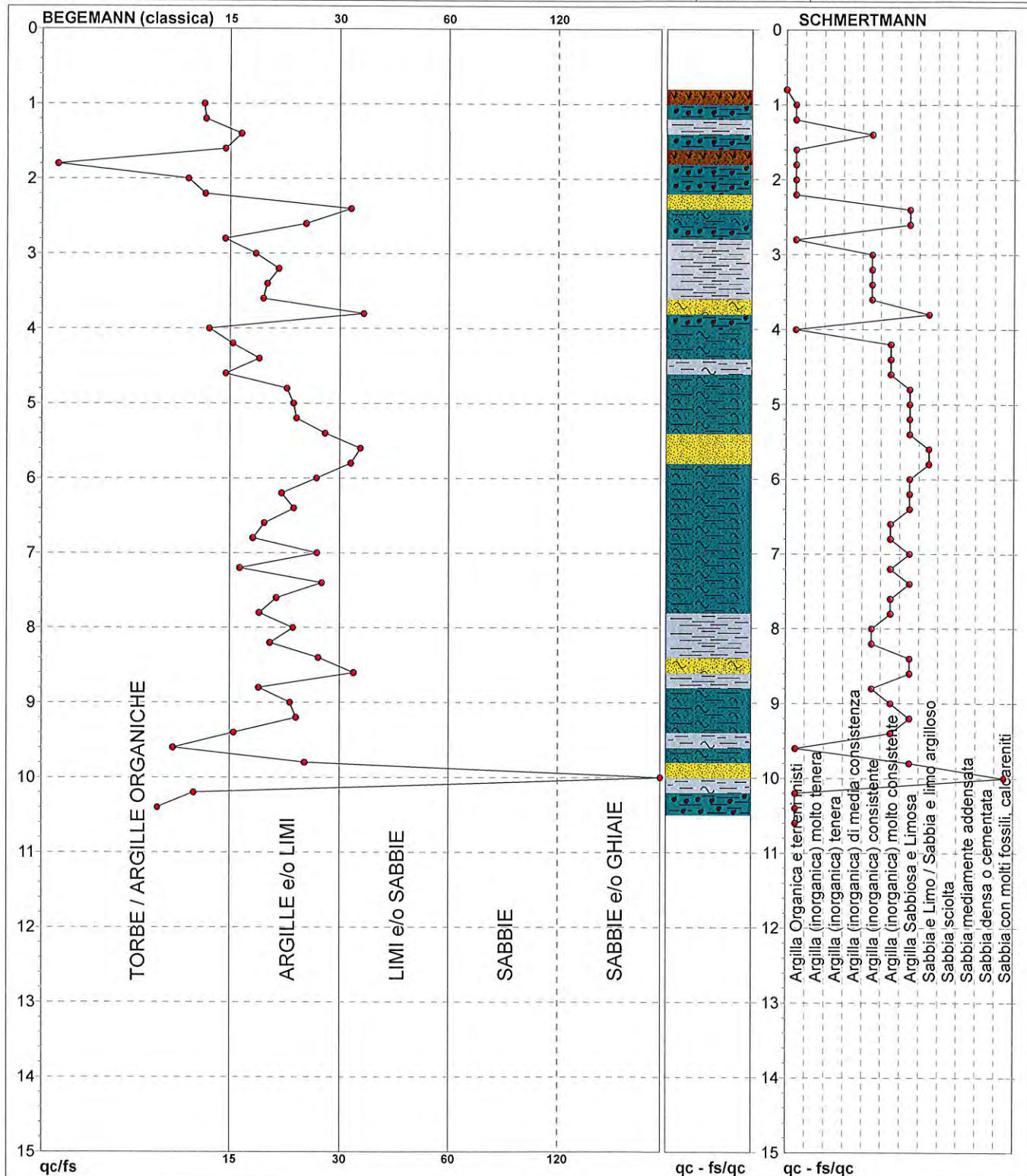
006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano
Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli
Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa
Scala: 1:75
Pagina: 1
Elaborato:

Data exec.: 30/01/2015

Falda: Foro chiuso



Torbe / Argille org. :	16 punti, 21,62%	Argilla Organica e terreni misti:	11 punti, 14,86%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	15 punti, 20,27%
Argille e/o Limi :	30 punti, 40,54%	Argilla (inorganica) consistente:	8 punti, 10,81%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 4,05%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 6,76%	Argilla (inorganica) molto consist.:	10 punti, 13,51%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,35%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,35%				

nota: Preforo Esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

1

referimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano
Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli
Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa

Data esec.: 30/01/2015

Pagina: 2

Elaborato:

Falda: Foro chiuso

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0,20	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	-	-	-	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,60	-	-	-	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,80	-	-	-	-	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	0,7	13,2	1	1,85	18,1	115	34,3	13,9	1,4	2,1	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,20	1,6	13,3	2	1,85	21,8	157	68,2	26,2	11,6	17,4	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,40	1,2	16,4	2	1,85	25,4	141	56,0	16,9	9,5	14,3	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,60	1,3	14,9	2	1,85	29,0	145	59,3	15,3	10,1	15,1	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,80	0,7	5,5	1	1,85	32,6	115	34,3	6,7	1,8	2,7	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,00	1,2	12,0	2	1,85	36,3	141	56,0	10,8	9,5	14,3	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,20	1,5	13,3	2	1,85	39,9	154	65,3	11,6	11,1	16,7	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,40	2,3	31,5	3	1,85	43,5	180	-	-	-	-	-	41	34	29	26	25	33	28	-	-	3,8	5,6	6,8
2,60	2,1	24,1	4	1,85	47,1	174	80,7	12,3	13,7	20,6	6,2	36	33	29	25	24	32	27	-	-	3,4	5,1	6,2
2,80	1,3	14,9	2	1,85	50,8	145	59,3	7,6	12,4	18,5	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	1,2	17,9	2	1,85	54,4	141	56,0	6,5	14,0	21,0	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,20	1,5	20,5	2	1,85	58,0	154	65,3	7,3	14,3	21,5	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,40	1,4	19,2	2	1,85	61,6	150	62,4	6,4	16,0	24,0	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,60	1,5	18,8	2	1,85	65,3	154	65,3	6,3	17,0	25,5	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,80	1,8	34,0	4	1,85	68,9	164	73,5	6,8	17,5	26,2	5,5	22	31	26	23	21	29	27	-	-	2,9	4,4	5,3
4,00	2,0	13,6	4	1,85	72,5	171	78,4	6,9	18,3	27,4	5,9	24	31	26	23	22	30	27	-	-	3,3	4,9	5,9
4,20	2,3	15,6	4	1,85	76,1	180	85,1	7,2	18,9	28,4	6,8	28	32	27	23	22	30	28	-	-	3,8	5,6	6,8
4,40	2,7	18,3	4	1,85	79,8	194	94,6	7,8	19,3	29,0	8,2	33	33	27	24	23	31	28	-	-	4,6	6,9	8,2
4,60	2,6	15,0	4	1,85	83,4	192	92,8	7,2	20,7	31,1	7,9	31	32	27	24	22	31	28	-	-	4,4	6,6	7,9
4,80	3,2	21,6	4	1,85	87,0	207	107,8	8,2	20,8	31,2	9,7	37	33	28	25	23	31	29	-	-	5,4	8,1	9,7
5,00	3,2	22,4	4	1,85	90,7	207	107,8	7,8	21,9	32,9	9,7	36	33	28	24	23	31	29	-	-	5,4	8,1	9,7
5,20	3,1	22,9	4	1,85	94,3	204	104,5	7,1	23,5	35,2	9,4	34	33	27	24	23	31	29	-	-	5,2	7,8	9,4
5,40	3,5	27,1	4	1,85	97,9	214	117,6	7,9	23,6	35,4	10,6	37	33	28	24	23	31	30	-	-	5,9	8,8	10,6
5,60	3,9	33,3	3	1,85	101,5	222	-	-	-	-	-	40	34	28	25	23	32	30	-	-	6,5	9,8	11,8
5,80	3,9	31,5	3	1,85	105,2	222	-	-	-	-	-	39	33	28	25	23	31	30	-	-	6,5	9,8	11,8
6,00	3,5	25,7	4	1,85	108,8	214	117,6	6,9	27,4	41,1	10,6	34	33	27	24	22	31	30	-	-	5,9	8,8	10,6
6,20	3,1	20,9	4	1,85	112,4	204	104,5	5,7	30,1	45,2	9,4	29	32	26	23	22	30	29	-	-	5,2	7,8	9,4
6,40	2,6	22,5	4	1,85	116,0	192	92,8	4,8	32,2	48,3	7,9	23	31	25	22	21	29	28	-	-	4,4	6,6	7,9
6,60	3,3	18,9	4	1,85	119,7	209	111,1	5,7	32,1	48,2	10,0	30	32	26	23	22	30	29	-	-	5,6	8,3	10,0
6,80	3,2	17,6	4	1,85	123,3	207	107,8	5,3	33,7	50,5	9,7	28	32	26	23	21	30	29	-	-	5,4	8,1	9,7
7,00	2,4	25,8	4	1,85	126,9	183	87,1	3,9	35,6	53,3	7,1	17	30	24	21	20	28	28	-	-	3,9	5,9	7,1
7,20	2,5	16,3	4	1,85	130,5	186	89,1	3,9	36,6	54,9	7,4	17	30	24	21	20	28	28	-	-	4,1	6,1	7,4
7,40	2,9	26,5	4	1,85	134,2	199	98,0	4,2	37,5	56,2	8,8	23	31	25	22	21	28	29	-	-	4,9	7,4	8,8
7,60	2,6	20,3	4	1,85	137,8	192	92,8	3,8	38,8	58,1	7,9	19	31	24	21	20	28	28	-	-	4,4	6,6	7,9
7,80	2,2	18,3	4	1,85	141,4	177	82,9	3,2	39,4	59,1	6,5	11	30	23	20	19	26	28	-	-	3,6	5,4	6,5
8,00	1,5	22,4	2	1,85	145,0	154	65,3	2,3	35,4	53,1	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,20	1,7	19,5	2	1,85	148,7	161	70,9	2,5	37,6	56,4	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,40	1,9	26,0	2	1,85	152,3	168	76,0	2,6	39,6	59,4	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,60	1,7	32,1	4	1,85	155,9	161	70,9	2,3	38,3	57,4	5,3	-	28	22	18	17	25	27	-	-	2,8	4,2	5,0
8,80	1,7	18,3	2	1,85	159,5	161	70,9	2,3	38,6	57,9	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,00	2,2	22,0	4	1,85	163,2	177	82,9	2,7	42,8	64,3	6,5	8	29	23	19	18	26	28	-	-	3,6	5,4	6,5
9,20	2,8	22,8	4	1,85	166,8	197	96,3	3,2	46,3	69,4	8,5	16	30	24	21	19	27	29	-	-	4,7	7,1	8,5
9,40	2,1	15,8	4	1,85	170,4	174	80,7	2,5	43,0	64,4	6,2	5	29	22	19	18	25	27	-	-	3,4	5,1	6,2
9,60	2,2	11,0	4	1,85	174,0	177	82,9	2,5	44,0	66,0	6,5	6	29	22	19	18	25	28	-	-	3,6	5,4	6,5
9,80	7,8	24,0	4	1,85	177,7	289	261,3	10,2	44,4	66,6	23,5	50	35	29	25	24	32	33	-	-	13,1	19,6	23,5
10,00	16,7	212,5	3	1,85	181,3	383	-	-	-	-	-	75	39	32	29	27	37	37	-	-	27,8	41,7	50,0
10,20	2,4	12,4	4	1,85	184,9	183	87,1	2,5	46,5	69,7	7,1	7	29	22	19	18	25	28	-	-	3,9	5,9	7,1
10,40	2,0	10,0	4	1,85	188,6	171	78,4	2,1	43,5	65,2	5,9	1	28	21	18	17	25	27	-	-	3,3	4,9	5,9
10,60	31,4	-	3	1,85	192,2	487	-	-	-	-	-	96	41	35	32	30	39	40	-	-	52,3	78,4	94,1

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA **LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT
2

riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano

Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli

Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa

Data esec.: 30/01/2015

Pagina: 1/2

Elaborato:

Falda: -6,50 m

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	-	-	-	-	-	-	-								
0,40	-	-	-	-	-	-	-								
0,60	-	-	-	-	-	-	-								
0,80	0,0	0,0	-	0,0	27,00	0	-								
1,00	6,0	10,0	-	0,6	33,00	18	5,5								
1,20	10,0	15,0	-	1,0	40,00	25	4,0								
1,40	12,0	18,0	-	1,2	80,00	15	6,7								
1,60	15,0	27,0	-	1,5	40,00	38	2,7								
1,80	14,0	20,0	-	1,4	133,00	11	9,5								
2,00	20,0	40,0	-	2,0	87,00	23	4,4								
2,20	24,0	37,0	-	2,4	173,00	14	7,2								
2,40	35,0	61,0	-	3,4	133,00	26	3,8								
2,60	27,0	47,0	-	2,6	127,00	21	4,7								
2,80	24,0	43,0	-	2,4	93,00	26	3,9								
3,00	18,0	32,0	-	1,8	40,00	45	2,2								
3,20	13,0	19,0	-	1,3	47,00	28	3,6								
3,40	18,0	25,0	-	1,8	67,00	27	3,7								
3,60	20,0	30,0	-	2,0	87,00	23	4,4								
3,80	24,0	37,0	-	2,4	80,00	30	3,3								
4,00	21,0	33,0	-	2,1	73,00	29	3,5								
4,20	22,0	33,0	-	2,2	87,00	25	4,0								
4,40	26,0	39,0	-	2,5	100,00	26	3,8								
4,60	29,0	44,0	-	2,8	113,00	26	3,9								
4,80	26,0	43,0	-	2,5	107,00	24	4,1								
5,00	27,0	43,0	-	2,6	107,00	25	4,0								
5,20	30,0	46,0	-	2,9	120,00	25	4,0								
5,40	34,0	52,0	-	3,3	153,00	22	4,5								
5,60	37,0	60,0	-	3,6	100,00	37	2,7								
5,80	37,0	52,0	-	3,6	140,00	26	3,8								
6,00	34,0	55,0	-	3,3	107,00	32	3,1								
6,20	26,0	42,0	-	2,5	93,00	28	3,6								
6,40	25,0	39,0	-	2,5	140,00	18	5,6								
6,60	29,0	50,0	-	2,8	73,00	40	2,5								
6,80	33,0	44,0	-	3,2	140,00	24	4,2								
7,00	22,0	43,0	-	2,2	133,00	17	6,0								
7,20	20,0	40,0	-	2,0	120,00	17	6,0								
7,40	34,0	52,0	-	3,3	167,00	20	4,9								
7,60	29,0	54,0	-	2,8	100,00	29	3,4								
7,80	18,0	33,0	-	1,8	87,00	21	4,8								
8,00	18,0	31,0	-	1,8	100,00	18	5,6								
8,20	18,0	33,0	-	1,8	67,00	27	3,7								
8,40	20,0	30,0	-	2,0	73,00	27	3,7								
8,60	21,0	32,0	-	2,1	73,00	29	3,5								
8,80	19,0	30,0	-	1,9	73,00	26	3,8								
9,00	17,0	28,0	-	1,7	73,00	23	4,3								
9,20	28,0	39,0	-	2,7	153,00	18	5,5								
9,40	27,0	50,0	-	2,6	73,00	37	2,7								
9,60	19,0	30,0	-	1,9	87,00	22	4,6								
9,80	20,0	33,0	-	2,0	80,00	25	4,0								
10,00	34,0	46,0	-	3,3	233,00	15	6,9								
10,20	80,0	115,0	-	7,8	1567,00	5	19,6								
10,40	230,0	465,0	-	22,5	100,00	230	0,4								
10,60	450,0	465,0	-	44,1											

PROVE PENETROMETRICHE s.r.l.

Via per Modena, 8 - CASTELNUOVO R.

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

nota: Preforo esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA **DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

CPT

2

riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano

Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli

Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa

Scala: 1:75

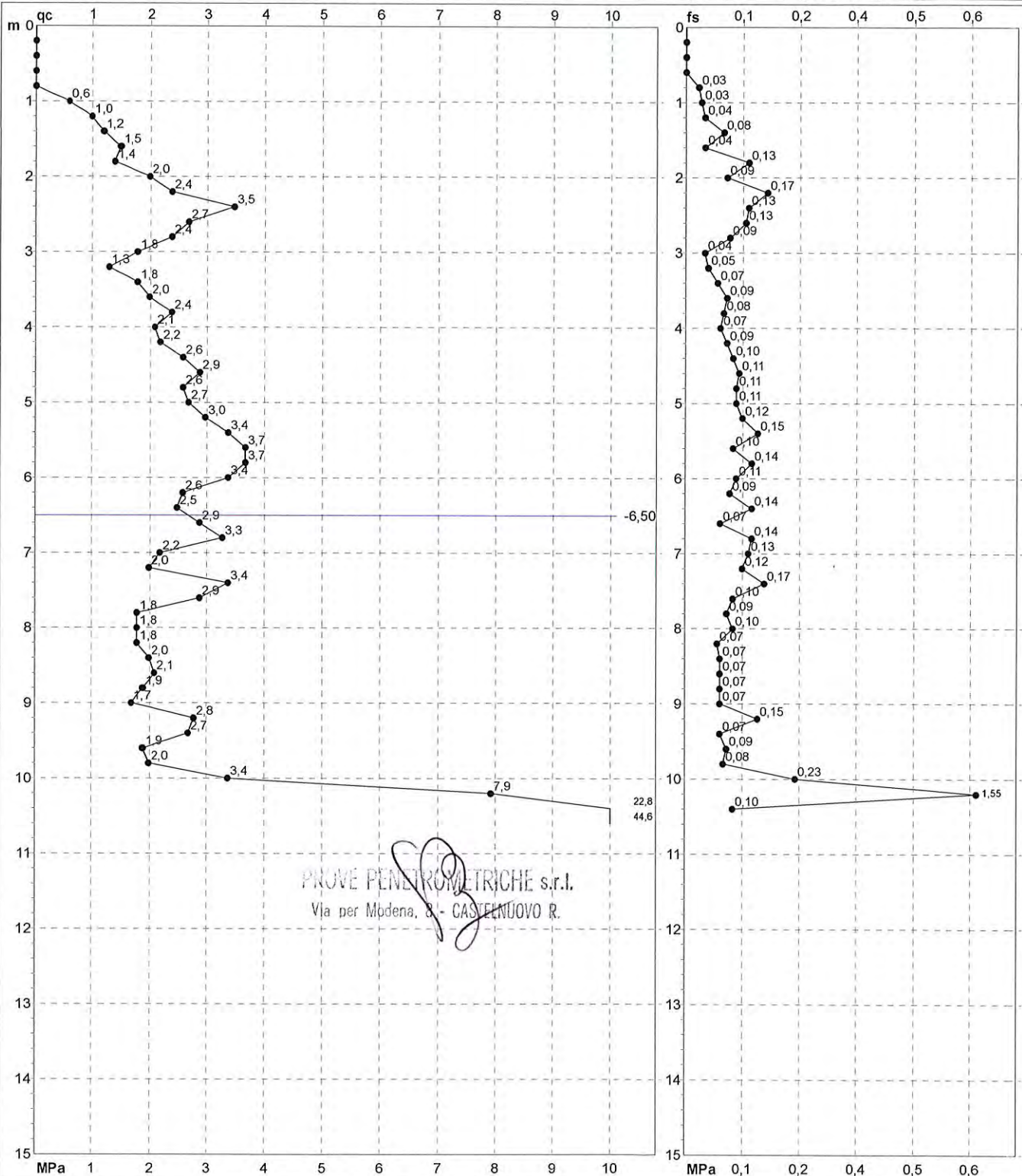
Pagina: 2/2

Elaborato:

Data esec.: 30/01/2015

Quota inizio:

Falda: -6,50 m



Penetrometro: GOUDA 200 kN
Responsabile: Dott. geol. Emilio Guerzoni
Assistente: Dott. Stefano Vigni

Preforo: -0,60 m
Corr.astine: kN/ml
Cod. punta:

nota: Preforo esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
2

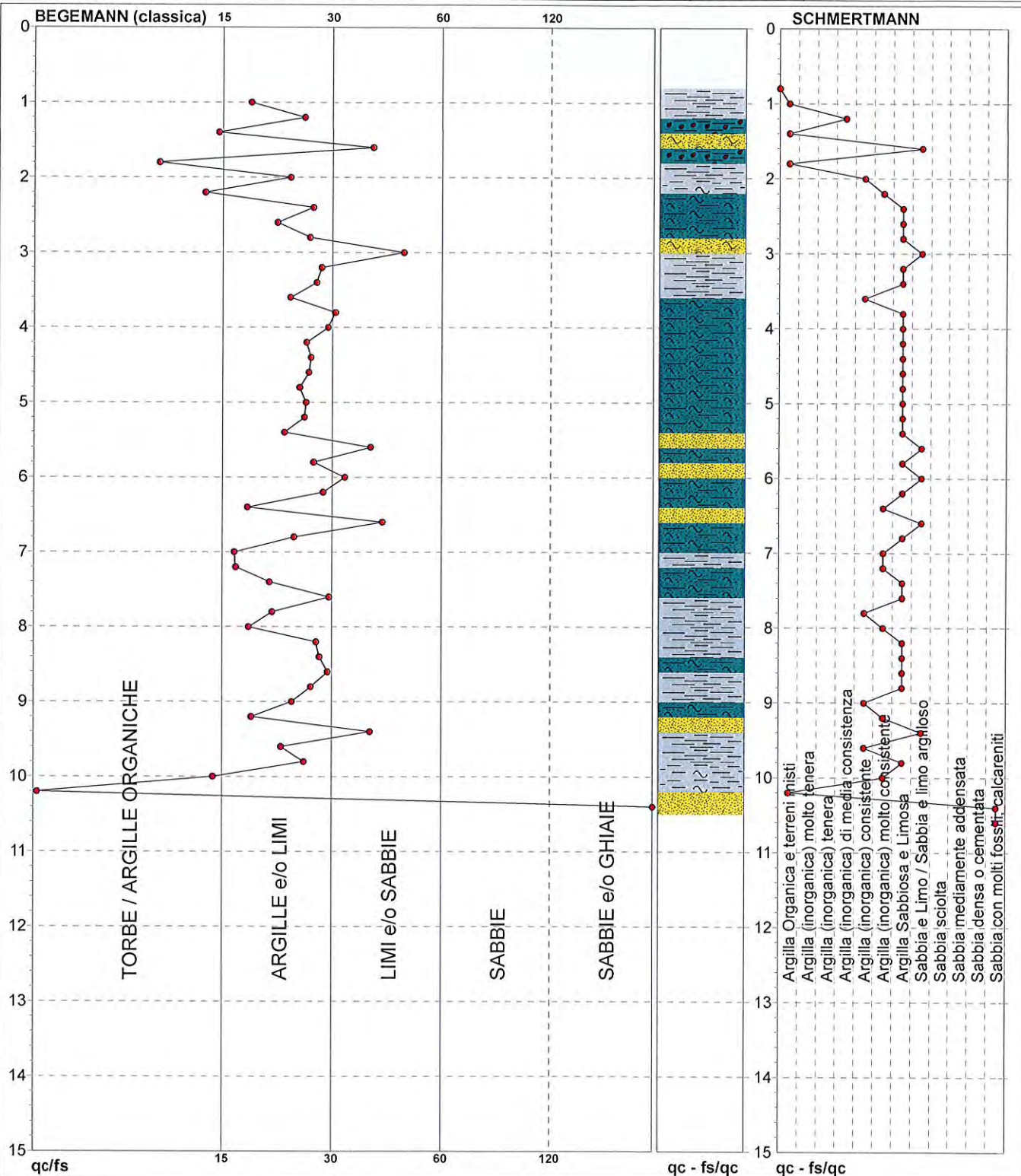
riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano
 Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli
 Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa
 Scala: 1:75
 Pagina: 1
 Elaborato:

Data exec.: 30/01/2015
 Falda: -6,50 m



Torbe / Argille org. :	9 punti, 12,16%	Argilla Organica e terreni misti:	4 punti, 5,41%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	24 punti, 32,43%
Argille e/o Limi :	36 punti, 48,65%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punti, 1,35%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 8,11%
Limi e/o Sabbie :	6 punti, 8,11%	Argilla (inorganica) consistente:	5 punti, 6,76%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,35%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	7 punti, 9,46%		
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,35%				

nota: Preforo esistente.

FON018

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

2

riferimento

006-2015

Committente: Azienda Agricola Sig. Ferrari Romano
Cantiere: Nuovo ricovero attrezzi agricoli
Località: Modena, stradello Cadiane 252

U.M.: MPa Data esec.: 30/01/2015
Pagina: 2
Elaborato: Falda: -6,50 m

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0,20	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	-	-	-	-	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,60	-	-	-	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,80	-	-	-	-	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	0,6	18,2	2	1,85	18,1	109	29,4	11,5	5,0	7,5	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,20	1,0	25,0	2	1,85	21,8	132	49,0	17,3	8,3	12,5	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,40	1,2	15,0	2	1,85	25,4	141	56,0	16,9	9,5	14,3	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,60	1,5	37,5	4	1,85	29,0	154	65,3	17,3	11,1	16,7	4,9	36	33	29	26	25	33	27	-	-	2,5	3,7	4,4
1,80	1,4	10,5	2	1,85	32,6	150	62,4	14,1	10,6	15,9	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,00	2,0	23,0	4	1,85	36,3	171	78,4	16,5	13,3	20,0	5,9	41	34	30	27	25	34	27	-	-	3,3	4,9	5,9
2,20	2,4	13,9	4	1,85	39,9	183	87,1	16,7	14,8	22,2	7,1	45	34	30	27	25	34	28	-	-	3,9	5,9	7,1
2,40	3,4	26,3	4	1,85	43,5	211	114,3	21,0	19,4	29,2	10,3	56	36	31	29	27	36	29	-	-	5,7	8,6	10,3
2,60	2,6	21,3	4	1,85	47,1	192	92,8	14,6	15,8	23,7	7,9	45	34	30	27	25	34	28	-	-	4,4	6,6	7,9
2,80	2,4	25,8	4	1,85	50,8	183	87,1	12,3	14,8	22,2	7,1	39	33	29	26	24	33	28	-	-	3,9	5,9	7,1
3,00	1,8	45,0	4	1,85	54,4	164	73,5	9,1	12,9	19,4	5,5	27	32	27	24	22	31	27	-	-	2,9	4,4	5,3
3,20	1,3	27,7	2	1,85	58,0	145	59,3	6,4	15,0	22,5	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,40	1,8	26,9	2	1,85	61,6	164	73,5	7,8	14,9	22,3	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,60	2,0	23,0	4	1,85	65,3	171	78,4	7,9	15,7	23,6	5,9	27	32	27	23	22	30	27	-	-	3,3	4,9	5,9
3,80	2,4	30,0	4	1,85	68,9	183	87,1	8,4	16,4	24,6	7,1	32	32	27	24	23	31	28	-	-	3,9	5,9	7,1
4,00	2,1	28,8	4	1,85	72,5	174	80,7	7,2	18,0	27,0	6,2	32	32	26	23	22	30	27	-	-	3,4	5,1	6,2
4,20	2,2	25,3	4	1,85	76,1	177	82,9	7,0	19,1	28,7	6,5	26	32	26	23	22	30	28	-	-	3,6	5,4	6,5
4,40	2,5	26,0	4	1,85	79,8	189	91,0	7,4	19,6	29,4	7,6	31	32	27	24	22	31	28	-	-	4,2	6,4	7,6
4,60	2,8	25,7	4	1,85	83,4	197	96,3	7,5	20,4	30,6	8,5	33	33	27	24	23	31	29	-	-	4,7	7,1	8,5
4,80	2,5	24,3	4	1,85	87,0	189	91,0	6,6	22,3	33,4	7,6	29	32	27	23	22	30	28	-	-	4,2	6,4	7,6
5,00	2,6	25,2	4	1,85	90,7	192	92,8	6,5	23,4	35,1	7,9	29	32	27	23	22	30	28	-	-	4,4	6,6	7,9
5,20	2,9	25,0	4	1,85	94,3	199	98,0	6,6	24,2	36,3	8,8	32	32	27	24	22	30	29	-	-	4,9	7,4	8,8
5,40	3,3	22,2	4	1,85	97,9	209	111,1	7,4	24,1	36,2	10,0	35	33	27	24	23	31	29	-	-	5,6	8,3	10,0
5,60	3,6	37,0	3	1,85	101,5	216	-	-	-	-	-	37	33	28	24	23	31	30	-	-	6,0	9,1	10,9
5,80	3,6	26,4	4	1,85	105,2	216	120,9	7,5	25,8	38,7	10,9	36	33	27	24	23	31	30	-	-	6,0	9,1	10,9
6,00	3,3	31,8	3	1,85	108,8	209	-	-	-	-	-	32	33	27	24	22	30	29	-	-	5,6	8,3	10,0
6,20	2,5	28,0	4	1,85	112,4	189	91,0	4,8	31,2	46,8	7,6	22	31	25	22	21	29	28	-	-	4,2	6,4	7,6
6,40	2,5	17,9	4	1,85	116,0	186	89,1	4,5	32,4	48,5	7,4	20	31	25	22	20	28	28	-	-	4,1	6,1	7,4
6,60	2,8	39,7	3	0,87	117,7	197	-	-	-	-	-	25	31	26	22	21	29	29	-	-	4,7	7,1	8,5
6,80	3,2	23,6	4	0,97	119,7	207	107,8	5,5	32,4	48,6	9,7	29	32	26	23	22	30	29	-	-	5,4	8,1	9,7
7,00	2,2	16,5	4	0,93	121,5	177	82,9	3,9	34,1	51,1	6,5	15	30	24	21	20	27	28	-	-	3,6	5,4	6,5
7,20	2,0	16,7	4	0,93	123,3	171	78,4	3,6	34,8	52,2	5,9	11	30	24	20	19	27	27	-	-	3,3	4,9	5,9
7,40	3,3	20,4	4	0,98	125,2	209	111,1	5,4	34,1	51,1	10,0	29	32	26	23	22	30	29	-	-	5,6	8,3	10,0
7,60	2,8	29,0	4	0,96	127,1	197	96,3	4,4	35,5	53,2	8,5	23	31	25	22	21	29	29	-	-	4,7	7,1	8,5
7,80	1,8	20,7	2	0,98	129,0	164	73,5	3,1	35,6	53,4	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,00	1,8	18,0	2	0,98	130,9	164	73,5	3,1	36,0	53,9	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,20	1,8	26,9	2	0,98	132,9	164	73,5	3,0	36,3	54,4	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,40	2,0	27,4	4	0,93	134,7	171	78,4	3,2	37,4	56,1	5,9	9	29	23	20	19	26	27	-	-	3,3	4,9	5,9
8,60	2,1	28,8	4	0,93	136,5	174	80,7	3,3	38,1	57,1	6,2	10	29	23	20	19	26	27	-	-	3,4	5,1	6,2
8,80	1,9	26,0	2	0,99	138,4	168	76,0	3,0	37,7	56,5	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,00	1,7	23,3	2	0,97	140,3	161	70,9	2,7	36,7	55,1	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,20	2,7	18,3	4	0,96	142,2	194	94,6	3,8	40,1	60,1	8,2	19	31	24	21	20	28	28	-	-	4,6	6,9	8,2
9,40	2,6	37,0	3	0,87	143,9	192	-	-	-	-	-	18	30	24	21	20	28	28	-	-	4,4	6,6	7,9
9,60	1,9	21,8	2	0,99	145,9	168	76,0	2,8	38,8	58,2	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,80	2,0	25,0	4	0,93	147,7	171	78,4	2,8	39,6	59,4	5,9	7	29	23	19	18	26	27	-	-	3,3	4,9	5,9
10,00	3,3	14,6	4	0,98	149,6	209	111,1	4,3	41,8	62,7	10,0	25	31	25	22	21	29	29	-	-	5,6	8,3	10,0
10,20	7,8	5,1	4	1,03	151,6	289	261,3	12,4	44,4	66,6	23,5	54	36	29	26	25	33	33	-	-	13,1	19,6	23,5
10,40	22,5	230,0	3	1,15	153,9	430	-	-	-	-	-	90	41	35	32	30	39	39	-	-	37,6	56,4	67,6
10,60	44,1	-	3	1,15	156,1	553	-	-	-	-	-	100	42	38	35	33	42	40	-	-	73,5	110,3	132,3

VERIFICA A LIQUEFAZIONE



Dr. Geol. Marco Roli

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

via G. Gozzano n°74 - Tel. 059/773706 - Fax. 328508689554 - cell. 3288689554 - Email: marcoroli@inwind.it

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_C che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_C con la (5.0a).

Se $I_C > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_C \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_C \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_C > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_C , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$\begin{aligned}
K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\
K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\
K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35
\end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 ($CRR_{7,5}$) si calcola con le espressioni seguenti:

se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 ($CSR_{7,5}$) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal NCEER (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Tabella 1- Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di Iwasaki et alii (1978; 1984).

DATI GENERALI

Data 05/02/2015
 Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 1,5 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,162
 Fattore amplificazione 2,367

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
 Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,469928
 Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
 Magnitudo momento sismico (Mw) 6,14
 Peak ground acceleration (PGA) 0,24

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Stima non eseguibile	0	0,2	18,5	20	0	0	0	0	0
2	Stima non eseguibile	0,2	0,4	18,5	20	0	0	0	0	0
3	Sabbie fini - Sabbie con Ghiaia	0,4	0,6	18,5	20	0	0	0	0	0
4	Torbe - Argille	0,6	0,8	18,5	20	0	0	0	0	0
5	Argille - Argille Limose	0,8	1	18,5	20	0	0	1007,73	39,23	0
6	Argille - Argille Limose	1	1,2	18,5	20	0	0	1007,73	39,23	0
7	Argille	1,2	1,4	18,5	20	0	0	1203,86	78,45	0
8	Limi - Argille Sabbiose	1,4	1,6	18,5	20	0	0	1498,06	39,23	0
9	Torbe - Argille Torbose	1,6	1,8	18,5	20	0	0	1400	130,72	0
10	Argille	1,8	2	18,5	20	0	0	1988,4	85,02	0
11	Torbe - Argille Torbose	2	2,2	18,5	20	0	0	2394,2	169,95	0
12	Argille - Argille Limose	2,2	2,4	18,5	20	0	0	3472,93	130,72	0
13	Argille	2,4	2,6	18,5	20	0	0	2688,4	124,25	0
14	Argille - Argille Limose	2,6	2,8	19	20	0	0	2394,2	91,5	0
15	Limi Sabbiosi - Sabbie Limose	2,8	3	19	20	0	0	1805,8	39,23	0
16	Argille - Argille Limose	3	3,2	19	20	0	0	1329	45,8	0
17	Argille - Argille Limose	3,2	3,4	19	20	0	0	1819,33	65,41	0
18	Argille	3,4	3,6	19	20	0	0	2015,46	85,02	0
19	Limi - Argille Sabbiose	3,6	3,8	19	20	0	0	2407,73	78,45	0
20	Argille - Argille Limose	3,8	4	19	20	0	0	2113,53	71,88	0
21	Argille - Argille Limose	4	4,2	19	20	0	0	2225,13	85,02	0
22	Argille - Argille Limose	4,2	4,4	19	20	0	0	2617,4	98,07	0
23	Argille - Argille Limose	4,4	4,6	19	20	0	0	2911,6	111,11	0
24	Argille - Argille Limose	4,6	4,8	19	20	0	0	2617,4	104,64	0
25	Argille - Argille Limose	4,8	5	19	20	0	0	2715,46	104,64	0
26	Argille - Argille Limose	5	5,2	19	20	0	0	3023,2	117,68	0
27	Argille	5,2	5,4	19	20	0	0	3415,46	150,34	0
28	Limi - Argille Sabbiose	5,4	5,6	19	20	0	0	3709,66	98,07	0
29	Argille - Argille Limose	5,6	5,8	19	20	0	0	3709,66	137,29	0
30	Limi - Argille Sabbiose	5,8	6	19	20	0	0	3415,46	104,64	0
31	Argille - Argille Limose	6	6,2	19	20	0	0	2644,46	91,5	0
32	Argille	6,2	6,4	19	20	0	0	2546,4	137,29	0
33	Limi - Argille	6,4	6,6	19	20	0	0	2938,66	71,88	0

34	Sabbiose													
35	Argille	6,6	6,8	19	20	0	0	3330,93	137,29	0				
36	Argille	6,8	7	19	20	0	0	2252,2	130,72	0				
37	Argille	7	7,2	19	20	0	0	2069,6	117,68	0				
38	Argille - Argille	7,2	7,4	19	20	0	0	3442,53	163,48	0				
39	Limose	7,4	7,6	19	20	0	0	2952,2	98,07	0				
40	Argille	7,6	7,8	19	20	0	0	1873,46	85,02	0				
41	Argille - Argille	7,8	8	19	20	0	0	1873,46	98,07	0				
42	Limose	8	8,2	19	20	0	0	1887	65,41	0				
43	Argille - Argille	8,2	8,4	19	20	0	0	2083,13	71,88	0				
44	Limose	8,4	8,6	19	20	0	0	2181,2	71,88	0				
45	Argille - Argille	8,6	8,8	19	20	0	0	1985,06	71,88	0				
46	Limose	8,8	9	19	20	0	0	1788,93	71,88	0				
47	Argille	9	9,2	19	20	0	0	2881,2	150,34	0				
48	Limi - Argille	9,2	9,4	19	20	0	0	2783,13	71,88	0				
49	Sabbiose	9,4	9,6	19	20	0	0	1998,6	85,02	0				
50	Argille - Argille	9,6	9,8	19	20	0	0	2096,66	78,45	0				
51	Limose	9,8	10	19	20	0	0	3469,59	228,79	0				
52	Argille	10	10,2	19	20	0	0	7994,19	1536,41	0				
53	Torbe - Argille	10,2	10,4	20	20	0	0	20000	98,07	0				
54	Torbose	10,4	15	20	20	0	0	20000	95	0				
55	Sabbie dense - Sabbie con Ghiaia													
56	Sabbie fini - Sabbie con Ghiaia													

Correzione per la magnitudo (MSF)

1,67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1,70	31,750	29,789	45,932	9,554	2,848	0,7800584	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	
1,90	35,750	31,827	46,925	4,354	4,160	1,7	169,014	0,985	0,529	0,104	5,111	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,10	39,750	33,866	69,523	7,218	2,640	1,7	169,014	0,985	0,529	0,104	5,111	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,30	43,750	35,905	57,959	3,812	2,481	1,668878	172,383	0,982	0,556	0,112	4,971	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,50	47,750	37,943	55,609	4,705	4,098	1,7	228,514	0,981	1,190	0,115	10,308	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,70	51,750	39,982	47,617	3,906	4,068	1,7	203,507	0,979	0,864	0,119	7,288	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,90	55,750	42,021	27,857	2,242	2,563	1,542654	117,406	0,978	0,231	0,121	1,900	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
3,10	59,750	44,059	28,808	3,608	2,683	1,542654	117,406	0,978	0,231	0,121	1,900	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso

3,30	63,750	46,098	38,084	3,726	2,603	1,54265 4	117,406	0,978	0,231	0,121	1,900	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
3,50	67,750	48,137	40,462	4,365	2,633	1,54265 4	117,406	0,978	0,231	0,121	1,900	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
3,70	71,750	50,175	40,387	3,358	4,081	1,67738 2	201,934	0,972	0,846	0,130	6,510	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
3,90	75,750	52,214	34,409	3,527	4,240	1,62801 9	172,043	0,970	0,554	0,132	4,206	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
4,10	79,750	54,253	39,544	3,963	2,610	1,62801 9	172,043	0,970	0,554	0,132	4,206	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
4,30	83,750	56,291	40,275	3,871	4,186	1,53875 2	201,376	0,967	0,839	0,135	6,240	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
4,50	87,750	58,330	43,623	3,935	4,138	1,49823 8	218,113	0,966	1,045	0,136	7,694	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
4,70	91,750	60,369	41,837	4,143	2,606	1,49823 8	218,113	0,966	1,045	0,136	7,694	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
4,90	95,750	62,407	38,674	3,994	4,240	1,42420 6	193,369	0,963	0,752	0,138	5,449	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
5,10	99,750	64,446	42,031	4,025	4,183	1,39028 1	210,155	0,961	0,943	0,139	6,782	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
5,30	103,750	66,485	46,388	4,540	4,200	1,35818 4	231,941	0,959	1,240	0,140	8,860	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
5,50	107,750	68,523	44,814	2,723	2,459	1,20803 8	123,662	0,958	0,256	0,141	1,817	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
5,70	111,750	70,562	44,162	3,816	2,564	1,19045 9	187,802	0,956	0,696	0,142	4,914	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
5,90	115,750	72,601	40,085	3,171	2,539	1,17362 5	150,441	0,955	0,397	0,142	2,786	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso

6,10	119,750	74,639	33,825	3,624	2,633	1,17362 5	150,441	0,955	0,397	0,142	2,786	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
6,30	123,750	76,678	31,595	5,667	2,789	1,17362 5	150,441	0,955	0,397	0,142	2,786	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
6,50	127,750	78,717	33,122	2,557	2,540	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
6,70	131,750	80,755	39,616	4,291	2,634	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
6,90	135,750	82,794	25,563	6,176	2,880	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
7,10	139,750	84,833	22,749	6,098	2,913	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
7,30	143,750	86,871	37,973	4,956	2,691	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
7,50	147,750	88,910	31,543	3,497	2,645	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
7,70	151,750	90,949	18,931	4,938	2,910	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
7,90	155,750	92,987	18,472	5,709	2,960	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
8,10	159,750	95,026	18,177	3,787	2,850	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
8,30	163,750	97,065	19,774	3,745	2,818	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
8,50	167,750	99,103	20,317	3,570	2,796	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
8,70	171,750	101,142	17,928	3,964	2,867	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
8,90	175,750	103,181	15,635	4,456	2,945	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno	0,00	Molto

													non suscettib ile di liquefazi one		basso
9,10	179,750	105,220	25,674	5,565	2,848	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
9,30	183,750	107,258	24,235	2,765	2,667	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
9,50	187,750	109,297	16,568	4,695	2,940	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
9,70	191,750	111,336	17,110	4,118	2,893	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
9,90	195,750	113,374	28,876	6,988	2,881	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
10,10	199,750	115,413	67,535	19,712	3,002	1,12711	124,683	0,950	0,260	0,144	1,805	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
10,30	203,750	117,452	184,544	0,495	1,512	0,92272 16	184,544	0,899	0,665	0,146	4,557	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
10,50	207,750	119,490	182,963	0,480	1,507	0,91481 63	182,963	0,894	0,650	0,145	4,471	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
10,70	211,750	121,529	181,422	0,480	1,510	0,90711 07	181,422	0,888	0,635	0,145	4,390	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
10,90	215,750	123,568	179,919	0,480	1,513	0,89959 66	179,919	0,883	0,622	0,144	4,312	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
11,10	219,750	125,606	178,453	0,480	1,516	0,89226 62	178,453	0,878	0,609	0,144	4,238	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
11,30	223,750	127,645	177,022	0,480	1,519	0,88511 22	177,022	0,872	0,596	0,143	4,168	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
11,50	227,750	129,684	175,626	0,480	1,521	0,87812 75	175,626	0,867	0,584	0,142	4,101	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso	
11,70	231,750	131,722	174,261	0,481	1,524	0,87130 56	174,261	0,862	0,572	0,142	4,036	Terreno non	0,00	Molto basso	

11,90	235,750	133,761	172,928	0,481	1,527	0,86464 03	172,928	0,856	0,561	0,141	3,975	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
12,10	239,750	135,800	171,625	0,481	1,530	0,85812 55	171,625	0,851	0,550	0,140	3,916	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
12,30	243,750	137,838	170,351	0,481	1,532	0,85175 59	170,351	0,846	0,540	0,140	3,860	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
12,50	247,750	139,877	169,105	0,481	1,535	0,84552 62	169,105	0,840	0,530	0,139	3,807	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
12,70	251,750	141,916	167,886	0,481	1,538	0,83943 1	167,886	0,835	0,520	0,138	3,755	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
12,90	255,750	143,954	166,693	0,481	1,540	0,83346 58	166,693	0,830	0,511	0,138	3,706	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
13,10	259,750	145,993	165,525	0,481	1,543	0,82762 59	165,525	0,824	0,502	0,137	3,659	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
13,30	263,750	148,032	164,382	0,481	1,545	0,82190 73	164,382	0,819	0,493	0,136	3,614	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
13,50	267,750	150,070	163,261	0,481	1,548	0,81630 55	163,261	0,814	0,485	0,136	3,571	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
13,70	271,750	152,109	162,163	0,482	1,550	0,81081 67	162,163	0,808	0,477	0,135	3,530	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
13,90	275,750	154,148	161,087	0,482	1,552	0,80543 71	161,087	0,803	0,469	0,134	3,490	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
14,10	279,750	156,186	160,033	0,482	1,555	0,80016 32	160,033	0,798	0,461	0,134	3,453	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
14,30	283,750	158,225	158,998	0,482	1,557	0,79499 17	158,998	0,792	0,454	0,133	3,416	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
14,50	287,750	160,264	157,984	0,482	1,559	0,78991 9	157,984	0,787	0,447	0,132	3,382	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile	0,00	Molto basso

14,70	291,750	162,302	156,989	0,482	1,562	0,78494 23	156,989	0,782	0,440	0,131	3,348	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso
14,90	295,750	164,341	156,012	0,482	1,564	0,78005 84	156,012	0,776	0,433	0,131	3,316	Terreno non suscettib ile di liquefazi one	0,00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso